

Ewa Jakubczyk, Agata Marzec
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE CHRUPKICH/KRUCHYCH CIASTEK

Streszczenie

Celem pracy było określenie właściwości mechanicznych wybranych ciastek na przykładzie herbatników i krakersów. Analizie poddano dwa rodzaje herbatników o zawartości tłuszczu 9,4 i 11 %. Przeprowadzono trójpunktowy test zginania-łamania oraz test ściskania przy dwóch prędkościach przesuwu głowicy 20 i 50 mm/min. Prędkość testu nie miała istotnego wpływu na przebieg ściskania. Odształcenie łamiące było dobrym wskaźnikiem łamliwości a pozorny moduł Young'a wskazywał na chrupkość materiałów. Herbatniki o obniżonej zawartości tłuszczu były twarde i chrupkie. Krakery o zawartości tłuszczu 23% były mniej łamliwe i kruche niż herbatniki. Mechaniczne zachowanie krakersów wskazywać może na plastyfikujący efekt dodanego tłuszczu.

Słowa kluczowe: krakersy, herbatniki, tekstura, kruchość, chrupkość

Wykaz oznaczeń

- b – szerokość badanej próbki [mm];
- d – przesunięcie głowicy pomiarowej w czasie testu [mm];
- dF/dt – nachylenie prostoliniowego początkowego odcinka krzywej (siła-czas);
- e – szerokość pieczywa [mm];
- t – grubość próbki [mm];
- v – szybkość przesuwu głowicy [mm/s];
- E_b – pozorny moduł Young'a [MPa];
- F – siła [N];
- L – odległość między podporami [mm];
- Y – przesunięcie głowicy, przy którym materiał pęka [mm];
- ε – odształcenie łamiące.

Wprowadzenie

Kruchość i chrupkość są ważnymi wskaźnikami sensorycznymi jakości produktów zbożowych, takich jak: kruche ciastka, herbatniki, krakersy, chipsy, czy chrupki. Obniżenie chrupkości i kruchości tej grupy produktów wiąże się z brakiem ich akceptacji przez konsumentów. Kruchość jest również bardzo ważnym parametrem w doborze metod pakowania oraz warunków transportu.

Określenie chrupkości i kruchości jest trudne zarówno instrumentalnie jak i sensorycznie. Definicje sensoryczne podawane przez wielu autorów nie są jednoznaczne, co wynika w dużej mierze z różnic kulturowych i językowych [Surmacka-Szczesniak 1988].

Produkty kruche jak i chrupkie łatwo pękają przy małym odkształceniu wytwarzając przy tym charakterystyczny ostry dźwięk. Przy odkształcaniu produktów kruchych spodziewać się można pojedynczego i całkowitego pęknięcia, zaś dla produktów chrupkich obserwuje się złożony mechanizm narastających mikropęknięć doprowadzających do całkowitego rozpadu materiału [Luyten i in. 2004]. Materiały chrupkie podczas gryzienia lub odkształcania wymagają zastosowania znacznie większej siły, wytwarzając niższy dźwięk, mniej głośny ale trwający dłużej niż w przypadku materiałów kruchych. Praktyczne rozwiązania oceny kruchości i chrupkości w testach mechanicznych jak i sensorycznych nie są proste. Przy analizie właściwości mechanicznych produktów zbożowych kruchych i chrupkich wielu autorów obserwowało małą powtarzalność pomiarów i trudność interpretacji uzyskanych wyników. Kim i Okos [1999] analizowali właściwości mechaniczne krakersów wykorzystując trójpunktowy test zginania, zaś Kohyama i in. [1997] stosowali jednoosiowe testy ściskania do oceny jakości krakersów. W testach zginania-łamania najczęściej ocenianym parametrem mechanicznym jest dystans, po którym materiał pęka [McManuis 2001].

Celem pracy było określenie właściwości mechanicznych wypiekanych cukierniczych produktów zbożowych przy zastosowaniu różnych testów mechanicznych.

Metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły krakersy i dwa rodzaje herbatników zakupionych na lokalnym rynku. Krakersy miały długość 63,1 mm, szerokość 48,1 mm, natomiast grubość 5,3 mm. Herbatniki o zawartości tłuszczu 11% miały wymiary 61,8 x 51,3 mm i grubość 4,9 mm, a herbatniki o zawartość tłuszczu 9,4% wymiary: 63,1 x 50,5 i grubość 5,3 mm.

Określono aktywność wody i zawartość wody w badanych materiałach. Aktywność wody mierzono za pomocą higrometru Hygroskop DT (Rotronic) z dokładnością $\pm 0,001$. Wilgotność produktów oznaczono zgodnie z polskimi normami: PN-84/A-86361.

Właściwości mechaniczne pieczywa badano w maszynie wytrzymałościowej ZWICK 1445. Wykonano trójpunktowy test zginania-łamania przy prędkości przesuwu głowicy 20 i 50 mm/min. Badane pieczywo było podparte klinowymi podporami stałymi rozstawionymi w odległości 40 mm między jedną a drugą podporą. Test łamania prowadzono do całkowitego zniszczenia materiału. Przeprowadzono również test ściskania odkształcając produkty do 40% ich wysokości z prędkością 20 i 50 mm/min. Testy wykonano w 8 powtórzeniach dla każdego rodzaju materiału.

Sporządzono krzywe łamania i ściskania w układzie przesunięcie głowicy (d) - siła (F). Określono pozorny moduł Younga (MPa):

- dla testu ściskania wyznaczając nachylenie prostoliniowego początkowego odcinka krzywej odkształcenie względne- naprężenie, [MPa]
- dla testu łamania obliczono z wzoru:

$$E_B = \left(\frac{dF}{dt} \right) \cdot \left(\frac{L^3}{4vbt^3} \right) \quad (1)$$

Odształcenie niszczące (centralne pęknięcie materiału) ε wyznaczono z zależności:

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot t \cdot Y}{L^2} \quad (2)$$

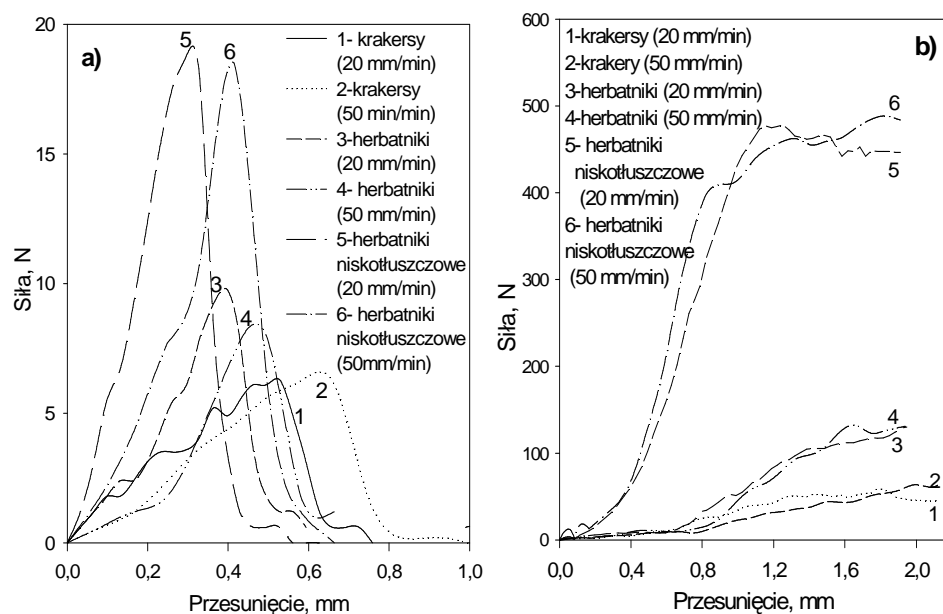
Wyniki i dyskusja

Herbatniki o zawartości tłuszczu 9,4 i 11% różnią się nieznacznie wymiarami, a różnice zawartości wody i aktywności wody nie są statystycznie istotne (tab. 1). Uzyskane krzywe zginania-łamania przedstawione na rysunku 1a wskazują na istotne różnice pomiędzy dwoma rodzajami herbatników. Siła łamiąca uzyskana dla herbatników niskotłuszczowych jest ponad dwukrotnie większa od siły zarejestrowanej dla herbatników o wyższej zawartości tłuszczu. Herbatniki niskotłuszczowe pękają przy odkształceniu $0,0059 \pm 0,0009$, wartość ta jest najmniejsza spośród badanych materiałów. Herbatniki o wyższej zawartości tłuszczu łamane są przy odkształceniu większym o 20%. Odształcenie łamiące uzyskane dla krakersów prawie dwukrotnie przewyższa wartość uzyskaną dla herbatników o obniżonej zawartości tłuszczu.

Tabela 1. Charakterystyka parametrów fizykochemicznych i mechanicznych badanych produktów zbożowych

Table 1. Characteristics of physicochemical and mechanical parameters of cereal products

Parametr	Produkt	Krakersy	Herbatniki	Herbatniki
		o zawartości tłuszczu 23,0 %	o zawartości tłuszczu 9,4 %	o zawartości tłuszczu 11,0 %
Aktywność wody		0,145 ± 0,009	0,198 ± 0,002	0,195 ± 0,002
Zawartość wody, %		3,14 ± 0,11	3,49 ± 0,04	3,34 ± 0,09
Odształcenie łamiące - 20 mm/min		0,0105 ± 0,0012	0,0059 ± 0,0009	0,0072 ± 0,0005
Odształcenie łamiące - 50 mm/min		0,0115 ± 0,0011	0,0082 ± 0,0006	0,0091 ± 0,0011



Rys. 1. Wpływ rodzaju materiału na krzywe łamania-zginania-(a) i ściskania - (b) przy prędkości testu 20 i 50 mm/min

Fig. 1. Effect of kind of material on bending curves -(a) and compression curves (b) at speed test: 20, 50 mm/min

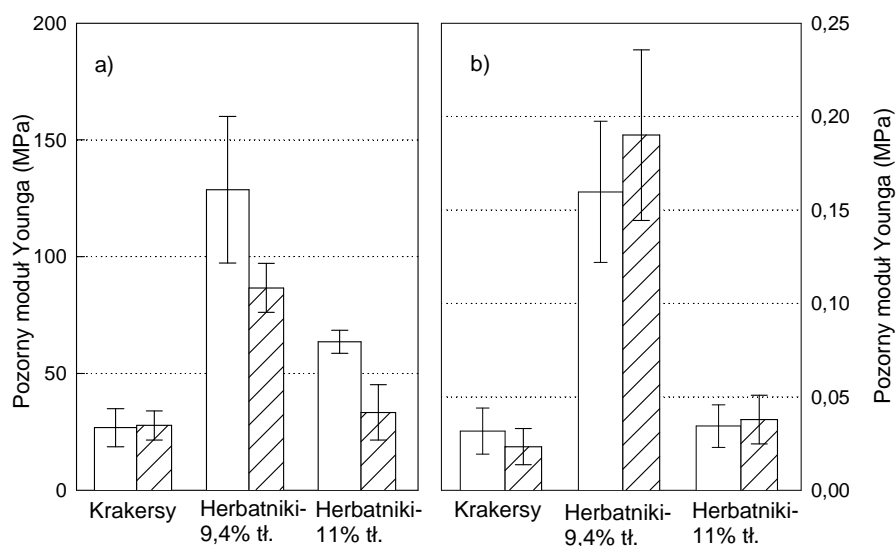
McManuis [2001] podał definicję, według której produkt jest bardziej łamliwy jeśli pęka przy mniejszym odkształceniu. Odkształcenia łamiące są bardzo małe dla herbatników o najniższej zawartości tłuszczu. Zoulias i in. [2002] modyfikując skład ciasta, uzyskiwali produkty mniej twarde i kruche przy wzroście zawartości tłuszczu. Przypuszczać należy, że herbatniki niskotłuszczowe zachowują się jak materiał o większej łamliwości i twardości niż herbatniki wysokotłuszczowe. Wysoka wartość siły łamiącej wskazywać może również na zwiększoną chrupkość herbatników o obniżonej zawartości tłuszczu.

Produkty łamane z prędkością 20 mm/min pękały przy mniejszym przesunięciu głowicy łamiącej niż przy zastosowaniu 50 mm/min. Mniejsza prędkość daje dłuższy czas testu, a zatem umożliwia rozproszenie naprężeń w materiale, powstawanie mikropęknięć i rozpad produktu przy mniejszym odkształceniu. Podczas testu łamania krakersów zarejestrowano dłuższy dystans głowicy łamiącej niezbędny do uzyskania pęknięcia materiału oraz mniejszą wartość siły łamiącej w porównaniu z herbatnikami. To może świadczyć o większej plastyczności materiału wynikającej m.in. ze struktury, składu chemicznego krakersów, których zawartość tłuszczu wynosi aż 23%.

Krzywe ściskania (rys. 1b) wykazują również istotne różnice między większą odpornością na ściskanie herbatników niskotłuszczowych, których siła maksymalna testu była średnio 4-krotnie większa od uzyskanej dla herbatników o 11% zawartości tłuszczu. Krakersy charakteryzują się najniższą odpornością na działające obciążenie spośród badanych produktów. O ile obserwowano różnice w wielkości przesunięcia głowicy w teście łamania, to przy ściskaniu krakersów i herbatników różnica między uzyskanymi krzywymi przy prędkościach 20 i 50 mm/min nie była statystycznie istotna. Wadą testu ściskania jest to, że podczas ściskania może nie występować tzw. naprężenie szokowe, które podczas gryzienia obniża poczucie twardości materiałów. Guraya i Toledo [1996] stwierdzili, że siła ściskania nie jest dobrym wskaźnikiem sensorycznej tekstury ekstrudowanych produktów zbożowych, choć pozwala określić różnice we właściwościach mechanicznych produktów.

Herbatniki niskotłuszczowe charakteryzowały się najwyższą wartością pozornego modułu Young'a uzyskanego zarówno w testach łamania i ściskania (rys. 2 a i b). Prędkość testu nie miała istotnego wpływu na wartość modułu w teście ściskania. Podczas łamania herbatników obserwowano istotne różnice wartości tego modułu. Mimo różnic w strukturze materiałów można przypuszczać, że zwiększona zawartość tłuszczu wpływa na spadek wartości pozornego modułu Young'a. Na podobną tendencję wskazywał Saleem [2005] wykorzystując test trójpunktowego zginania do opisu właściwości herbatników o zawartości tłuszczu 12, 16 i 22%. Małe odkształcenia, przy którym materiał pękał wskazywały na początkową sprężystą odpowiedź materiału na działające obciążenie. Największe wartości pozornego

modułu Young'a i naprężeń niszczących uzyskano dla herbatników o 12% zawartości tłuszczu. Wartość modułu malała wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu. Maache-Rezzoug i in. [1998] stwierdzili, że wysoko tłuszczowe herbatniki dają produkty bardzo delikatne z tendencją do kruszenia, miłkie ale nie kruche.



Rys. 2. Wpływ rodzaju materiału na pozorny moduł Young'a testu łamania (a) i ściskania (b) - przy prędkości testu 20 i 50 mm/min

Fig. 2. Effect of kind of material on apparent Young's modulus –of bending (a) and compression (b) at speed test:20, 50 mm/min

Początkowe nachylenie krzywej łamania może być dobrym wyznacznikiem chropkości [McManuis 2001]. Wysokie wartości pozornego modułu Young'a uzyskane dla herbatników o obniżonej zawartości tłuszczu świadczą o największym nachyleniu krzywej łamania. Krakery charakteryzują się najniższym nachyleniem krzywej (rys. 1a) a zatem należy traktować je jako najmniej chrupkie.

Wnioski

1. Prędkość testu miała istotny wpływ na obraz krzywych łamania, zaś nie obserwowano istotnych różnic podczas ściskania.
2. Test łamania dostarcza informacji o kruchości i twardości produktu, podaje maksymalne przemieszczenie głowicy i siłę łamania, interpretacja krzywych ściskania jest znacznie utrudniona.

3. Herbatniki niskotłuszczowe zachowują się jak materiały o większej chrupkości i twardości niż herbatniki wysokotłuszczowe i krakersy. Krakersy są produktami o wysokiej zawartości tłuszczu, który może wpływać uplastyczniająco na teksturę.

Bibliografia

Guraya H.S., Toledo R.T. 1996. Microstructural characteristics and compression resistance as indices of sensory texture in a crunchy snack product. *J. Texture Stud.* 27, s. 687-701.

Kim M.H., Okos M.R. 1999. Some physical, mechanical and transport properties of crackers related to the checking phenomenon. *J. Food Eng.* 40, s. 189-198.

Kohyama K., Nishi M., Suzuki T. 1997. Measuring texture of crackers with a Multiple-point sheet sensor. *J. Food Sci.* 62(5), s. 922-925.

Luyten H., Plijter J.J., Van Vliet T. 2004. Crispy/Crunchy crusts of cellular solid foods: a literature review with discussion. *J. Texture Stud.* 35, s. 445-492.

Maache-Rezzoug Z., Bouvier J-M., Allaf K., Patras Ch. 1998. Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits, *J. Food Eng.* 35, s. 23-42.

McManuis R. 2001. Using instrumental texture analysis to ensure product quality. *Cereal Foods World*, 46, s. 517-518.

Saleem Q. 2005. Mechanical and fracture properties for predicting cracking in semi-sweet biscuits. *Int. J. Food Sci. & Technol.* 40, s. 361-367.

Surmacka-Szczesniak A. 1988. The meaning of textural characteristics-crispness. *J. Texture Stud.* 19, s. 51-59.

Zoulias E. I., Oreopoulou V., Tzia C. 2002. Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers. *J. Food Eng.* 55, s. 337-342.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 3 PO6T 040 25 w latach 2003-2006 finansowanego przez KBN

Ewa Jakubczyk, Agata Marzec

MECHANICAL PROPERTIES OF CRUNCHY/CRISPY CAKES

Summary

The aim of this work was to determine the mechanical properties of crackers and biscuits. The properties of biscuits at different fat content of 9.4 and 11% were analysed. The mechanical properties were measured by three-point loading bending test and also by compression test with velocity 20 and 50 mm/min. The effect of loading bar velocity on compression curves was not significant. The fracture strain generally described brittleness of products and apparent Young's modulus was correlated with crunchiness. The biscuit with low content of fat was very crunchy and hard, but crackers with 23% of fat content were less brittle and crisp than biscuits. The effect of fat was probably associated to plasticization mechanism.

Key words: crackers, biscuits, texture, crispness, crunchiness